

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik	3
2.1	Tiefbohren – Einsatzbereiche und spezifische Probleme	3
2.2	Rattern	5
2.2.1	Grundlagen	5
2.2.2	Untersuchungen zum Rattern beim Tiefbohren	6
2.2.3	Auswirkungen auf die Werkstückqualität und den Werkzeugverschleiß	7
2.2.4	Gegenmaßnahmen	8
2.3	Drallbohren	9
2.3.1	Auswirkungen auf die Bohrungsqualität	9
2.3.2	Erklärungsansätze	9
2.3.3	Gegenmaßnahmen	13
3	Versuchseinrichtungen	15
3.1	Werkzeugmaschine	15
3.2	Werkzeuge und Werkstücke	16
3.3	Bewertung der Werkstückqualität	17
3.4	Zeitreihenerfassung	18
3.5	Übertragungsfunktionen	18
3.6	Verwendete Software	19
4	Rattern	21
4.1	Zerspanversuche	22
4.1.1	Versuchsaufbau	22
4.1.2	Versuchsplanung	23
4.1.3	Modellierung der Werkstückgüte	24
4.1.4	Zeitreihenanalyse	28
4.1.5	Einfluss des Vorschubwegs auf die Zustandsänderungen	31
4.1.6	Erklärungsansätze	33
4.1.6.1	Torsionsschwingungen im direkten Anschluss an die Anbohrphase	33
4.1.6.2	Zustandsänderungen im weiteren Prozessverlauf	34
4.2	Torsionsschwingungsmodell	36
4.2.1	Diskretes Modell des Tiefbohrwerkzeugs	36

4.2.1.1	Bewegungsgleichungen des Beispielsystems	37
4.2.1.2	Bewegungsgleichungen eines Systems mit N Freiheitsgraden	38
4.2.1.3	Parameter der Bewegungsgleichungen	38
4.2.1.4	Einfluss der Auflösung	39
4.2.1.5	Berücksichtigung der Bohrkopfträgheit	40
4.2.2	Bohrtiefenabhängige Randbedingungen	41
4.2.2.1	Bewegungsgleichungen mit zusätzlichem viskosem Dämpfer	41
4.2.2.2	Modellierung des Dämpfungseinflusses der Stopfbuchse	43
4.3	Messung des Dämpfungsverlaufs	45
4.3.1	Messmethode	45
4.3.2	Messergebnisse	47
4.4	Berechnung des Verlaufs der Dämpfung	49
4.4.1	Modellbasierte Approximation der Dämpfungsmaße	49
4.4.2	Abklingkoeffizienten über Vorschubweg	51
5	Drallbohren	55
5.1	Verschleißbedingtes Drallbohren	56
5.1.1	Versuchsaufbau und -planung	56
5.1.2	Werkstückqualität	58
5.1.3	Zeitreihenanalyse	60
5.2	Biegeschwingungsmodell	64
5.2.1	Diskretes Modell des Tiefbohrwerkzeugs	64
5.2.1.1	Bewegungsgleichungen des Beispielsystems	65
5.2.1.2	Bewegungsgleichungen eines Systems mit N Freiheitsgraden	65
5.2.1.3	Parameter der Bewegungsgleichungen	66
5.2.1.4	Einfluss der Auflösung	67
5.2.1.5	Kühlschmierstoff und Bohrkopf	69
5.2.2	Berücksichtigung zusätzlicher Randbedingungen	69
5.2.2.1	Bewegungsgleichungen des System mit zusätzlicher elastischer Abstützung	70
5.2.2.2	Abstützung durch den Lanchester-Dämpfer	71
5.2.2.3	Abstützung durch die Stopfbuchse	73
5.2.2.4	Abstützung durch das Werkstück	74
5.3	Messung der Biegeeigenfrequenzen	76
5.3.1	Einfluss der Abstützung des Werkzeugs	76
5.3.2	Einfluss der Bohrtiefe	77
5.4	Validierung des Biegeschwingungsmodells	80
5.4.1	Einfluss der Werkzeugabstützungen	80
5.4.2	Einfluss des Vorschubwegs	84
5.4.3	Eigenfrequenzen unter Variation der Dämpferposition	85
6	Zusammenfassung	89

Literaturverzeichnis	91
A Tabellen zum Thema Rattern	103
B Tabellen zum Thema Drallbohren	107
C Ergänzung zum Biegeschwingungsmodell	113